

*Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2021
Makassar, 21 September 2021*

Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Arus Netral di Baloiya Kepulauan Selayar serta Dampaknya Terhadap Pelanggan Distribusi

Ahmad Rifky Muflizar¹⁾, Hatma Rudito²⁾, Ahmad Rosyid Idris³⁾

^{1,2,3}Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

ahmadrifkymuflizar@gmail.com

di2trudito@gmail.com

ahmadrosyid@poliupg.ac.id

Abstrak

PLN dalam menyediakan listrik dituntut untuk merancang distribusi tenaga listrik secara seimbang. Namun, kenyataannya saluran distribusi tenaga listrik sering mengalami ketidakseimbangan beban. Penelitian ini akan menganalisa ketidakseimbangan beban yang terjadi di PT. PLN ULP Selayar. Metode yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dengan mencari literatur dan referensi yang terkait dengan analisis ketidakseimbangan beban. Langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data di lapangan yang terkait dengan topik yang dibahas. Data ini diperoleh dari sebuah trafo distribusi milik PT. PLN ULP Selayar yang kemudian akan dilakukan beberapa perhitungan dengan rumus yang telah ditentukan untuk mengetahui pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi daya pada transformator tersebut. Perhitungan ini kemudian dijadikan dasar analisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi daya pada trafo tersebut dan dampaknya terhadap pelanggan. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh persentase ketidakseimbangan beban melebihi angka 14% pada siang hari dan 27% malam hari. Penelitian ini juga menghitung *losses* yang disebabkan oleh munculnya arus netral yang mengalir melalui penghantar netral sebesar 4.49 W dan yang mengalir ke tanah sebesar 0.86 W dan juga ditemukan adanya *overvoltage* pada pelanggan.

Kata Kunci: ketidakseimbangan, transformator, arus netral, rugi daya, pelanggan distribusi

I. PENDAHULUAN

Pada sistem kelistrikan di Kabupaten Kepulauan Selayar, khususnya pada jaringan distribusi masih ada beberapa titik transformator daya yang memiliki beban tidak seimbang antar-fasa nya. Ketidakseimbangan tersebut terjadi karena berbagai alasan, seperti pemasangan instalasi rumah yang sembarangan, hingga persoalan minimnya penduduk yang tinggal di daerah itu.

Kondisi inilah yang terjadi pada salah satu transformator daya yang terletak di Baloiya, Kecamatan Bontosikuyu, Kepulauan Selayar. Di mana, pada transformator daya tersebut ketiga fasa yang menyuplai beban mengalami ketidakseimbangan dikarenakan di Baloiya jumlah penduduk sangat jarang.

Permasalahan yang terjadi inilah yang mendasari penulis mengangkat topik ini untuk mengetahui akibat dari ketidakseimbangan beban ini terhadap rugi-rugi daya serta dampak yang ditimbulkan terhadap pelanggan.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang mampu memindahkan dan mengubah

energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain tanpa mengubah frekuensi dari sistem, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. (A. Kadir, 1989)

B. Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Faraday, yaitu ketika kumparan primer dialiri oleh arus bolak-balik (AC), maka akan menimbulkan fluks magnetis atau medan magnet di sekitarnya. Kekuatan fluks magnetis tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialirinya.

C. Ketidakseimbangan Beban

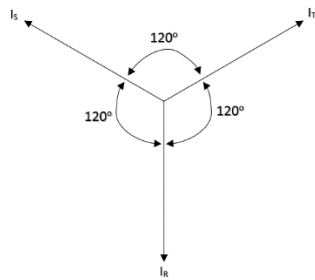
Ketidakseimbangan beban merupakan suatu keadaan atau kondisi pada jaringan dimana ketiga fasanya tidak memenuhi satu atau kedua syarat berikut. (Dr. Sudaryatno Sudirham, 1991).

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

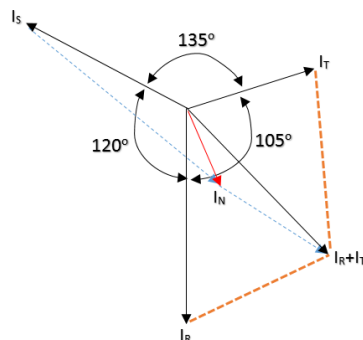
Ada tiga kemungkinan ketidakseimbangan beban, yaitu:

- Ketiga vektor sama besar, tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar, tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.

- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 1. Vektor arus keadaan seimbang



Gambar 2. Vektor arus keadaan tidak seimbang

D. Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Distribusi
Sebagai akibat dari terjadinya ketidakseimbangan beban antara fasa pada sisi sekunder transformator (fasa R, fasa S, fasa T), akan mengalir arus di netral trafo (Burhanuddin, 2012). Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan rugi-rugi daya (*losses*).

Losses pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (1)$$

Dimana :

P_N : losses penghantar netral trafo (watt)

I_N : arus pada netral trafo (A)

R_N : tahanan penghantar netral trafo (Ω)

Sedangkan losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad (2)$$

Dimana :

P_G : losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G : arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G : tahanan pembumian netral trafo (Ω)

E. Penyaluran Daya Pada Sistem Distribusi

Apabila pada penyaluran daya arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut : (Daman Suswanto, 1991)

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \quad (3)$$

Dimana :

P : daya pada ujung kirim

V : tegangan pada ujung kirim

$\cos \phi$: faktor daya

Jika $[I]$ adalah besaran arus phasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan beban seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan beban tak seimbang, besarnya arus-arus phasa dapat dinyatakan dengan koefisien a , b dan c sebagai berikut :

$$[I_R] = a[I] \quad (4)$$

$$[I_S] = b[I] \quad (5)$$

$$[I_T] = c[I] \quad (6)$$

dengan I_R , I_S dan I_T adalah arus di fasa R, S dan T. Untuk mendapatkan nilai koefisien a , b , dan c berdasarkan persamaan (12), (13), dan (14), maka diperoleh :

$$a = \frac{I_R}{I} \quad (7)$$

$$b = \frac{I_S}{I} \quad (8)$$

$$c = \frac{I_T}{I} \quad (9)$$

dimana I adalah arus rata-rata dari ketiga arus phasa trafo.

$$I = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (10)$$

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \quad (11)$$

Jika persamaan $P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi$ dan persamaan $P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi$ menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a , b , dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \quad (12)$$

Dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$. Dengan demikian untuk setiap koefisien dikurangi dengan 1. Sehingga, untuk mengetahui persentase ketidakseimbangan beban, digunakan rumus berikut. (Dr. Sudaryatno Sudirham, 1991)

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (13)$$

Dimana :

I_R = arus fasa R (A)

I_S = arus fasa S (A)

I_T = arus fasa T (A)

I = arus rata-rata (A)

Besarnya ketidakseimbangan adalah maksimum 2% (SPLN D5.004-1:2012).

F. Pelanggan Listrik

Pelanggan listrik merupakan pihak yang menggunakan atau mengkonsumsi listrik untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Secara umum, pelanggan listrik dibedakan menjadi tiga. Yaitu, pelanggan listrik tegangan

rendah, pelanggan listrik tegangan menengah, dan pelanggan listrik tegangan tinggi.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari 2021 di PT. PLN (Persero) ULP Selayar Kelurahan Benteng, Kecamatan Benteng, Kabupaten Kepulauan Selayar.

B. Teknik Pengumpulan Data

Pada tahap ini dimaksudkan untuk mengambil data yang nantinya akan diolah dan dianalisis. Adapun data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

a. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari objek penelitian.

b. Data sekunder

Data sekunder ini diperoleh melalui data-data dari PLN ULP Selayar dan jurnal tentang kajian ketidakseimbangan beban.

c. Metode penyelesaian

Metode penyelesaian akan dijelaskan pada diagram aliran penelitian

Diagram alir (flowchart) penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Spesifikasi Transformator

Dalam penelitian ini, terdapat sebuah transformator yang diteliti ketidakseimbangannya dengan spesifikasi sebagai berikut.

Nama : BR70063

Daya : 25 kVA

Jenis : 3 fasa

Pemasangan : cantol

Berikut single line diagram untuk trafo BR70063 ditunjukkan pada Gambar 4.

B. Data Hasil Pengukuran Transformator

Data hasil pengukuran transformator dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

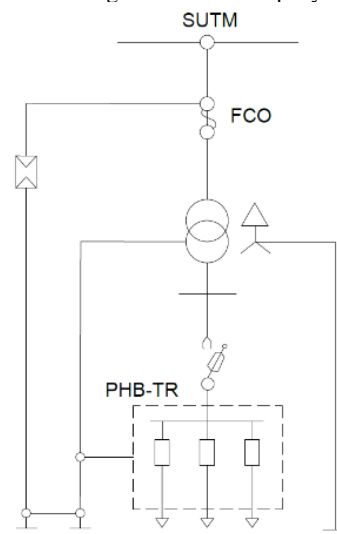
Tabel 1. Hasil Pengukuran pada transformator BR70063 pada siang dan malam hari

Arus (A)				Tegangan P-P (V)			Tegangan P-N (V)		
R	S	T	N	R-S	R-T	R-T	R-N	S-N	T-N
5.43	7.95	7.55	3.05	380.81	381.00	381.60	219.97	220.07	220.10
Pengukuran tanggal 3-6 Nov 2020				Pukul 18.23					
R	S	T	N	R-S	R-T	R-T	R-N	S-N	T-N
9.42	21.3	17.0	5.12	380.54	380.78	381.43	220.68	220.70	240.63

Untuk trafo BR70063 besar tahanan kawat penghantar netral trafo adalah 0,68 Ω /km, sedangkan untuk tahanan pembumiannya adalah 3.6 Ω .



Gambar 3. Diagram alir metode penyelesaian



Gambar 4. Single line diagram trafo BR70063

C. Perhitungan Besar Arus Netral Yang Mengalir Akibat Ketidakseimbangan Beban

Dari tabel data pengukuran di atas, dapat dilihat bahwa pada setiap pengukuran untuk masing-masing transformator tidak memenuhi kriteria seimbang dikarenakan arus pada fasa R, S, dan T tidak bernilai sama. Untuk menghitung besar arus netral dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

$$I_G = \frac{R_N}{R_N + R_G} \times I_N$$

$$I_G = \frac{0.68}{0.68 + 3.6} \times 3.05 \text{ A}$$

$$I_G = 0.49 \text{ A}$$

$$I'_N = \frac{R_G}{R_N + R_G} \times I_N$$

$$I'_N = \frac{3.6}{0.68 + 3.6} \times 3.05 \text{ A}$$

$$I'_N = 2.57 \text{ A}$$

Dengan menggunakan metode yang sama untuk setiap pengukuran pada masing-masing transformator, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

Untuk hasil perhitungan pada transformator BR70063 dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Besar arus IN dan IG pada trafo BR70063

Waktu	IG	IN'
	(A)	
Siang	0.49	2.57
Malam	0.81	4.31

D. Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator

Dari data pengukuran yang tertera pada tabel 1, maka dapat dihitung ketidakseimbangan beban untuk tiap transformator berdasarkan persamaan (13).

Persentase ketidakseimbangan untuk pengukuran di siang hari pada transformator BR70063 :

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

maka :

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{5.43}{6.98} = 0.78$$

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{7.95}{6.98} = 1.14$$

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{7.55}{6.98} = 1.08$$

Dengan demikian persentase ketidakseimbangan beban adalah :

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{|0.78 - 1| + |1.14 - 1| + |1.08 - 1|\}}{3} \times 100 \%$$

$$= 14.67 \%$$

Untuk tiap pengukuran pada masing-masing transformator, dilakukan dengan cara yang sama pada perhitungan 1 di siang hari untuk transformator BR70063. Perhitungan ketidakseimbangan dari ketiga trafo dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban

Waktu Pengukuran	Persentase ketidakseimbangan (%)
Siang	14.67
Malam	27.00

Berdasarkan SPLN D5.004-1:2012, nilai persentase ketidakseimbangan beban pada transformator adalah sebesar 2%. Pada tabel 3, dapat dilihat bahwa nilai persentase ketidakseimbangan beban pada ketiga transformator mempunyai nilai ketidakseimbangan beban di atas 2%.

E. Analisis Rugi Daya Akibat Arus Netral Yang Mengalir Pada Penghantar Netral Trafo

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (1). Adapun hasil perhitungan trafo BR70063 di siang hari adalah sebagai berikut.

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

$$P_N = 3.05^2 \cdot 0.68$$

$$P_N = 4.49 \text{ W}$$

Dengan menggunakan metode yang sama, maka didapatkan hasil perhitungan untuk setiap pengukuran pada masing-masing trafo. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Rugi daya akibat arus yang mengalir pada penghantar netral

Waktu Pengukuran	Rugi Daya (W)
Siang	4.49
Malam	12.63

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, menunjukkan bahwa besarnya rugi daya yang terjadi sebanding dengan besarnya arus netral yang mengalir pada penghantar netral trafo.

F. Analisis Rugi Daya Akibat Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah

Dari data pengukuran, rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10). Untuk hasil perhitungan pada trafo BR70063 di siang hari dapat adalah sebagai berikut.

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

$$P_G = 0.49^2 \cdot 3.6$$

$$P_N = 0.86 \text{ W}$$

Dengan menggunakan metode yang sama, maka didapatkan hasil perhitungan untuk setiap pengukuran pada masing-masing trafo. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah

Waktu Pengukuran	Rugi Daya (W)
Siang	0.86
Malam	2.36

Akibat ketidakseimbangan beban yang terjadi, timbullah arus netral (I_N). Kemudian, arus netral yang timbul akan mengalir ke tanah (I_G). Arus inilah yang digunakan dalam perhitungan rugi daya yang terjadi akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, menunjukkan bahwa besarnya rugi daya yang terjadi sebanding dengan besarnya arus netral yang mengalir ke tanah.

G. Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Terhadap Pelanggan

Data pelanggan yang disuplai oleh trafo BR70063 dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Data pelanggan trafo BR70063 untuk tiga kali pengukuran tegangan

No.	Jenis Pelanggan	Daya Terpasang (VA)	Pengukuran Tegangan (V)		
			I	II	III
1	Rumah tinggal	900	218	218	219
2	Rumah tinggal	900	225	224	225
3	Rumah tinggal	900	218	217	217
4	Rumah tinggal	900	221	220	220
5	Restoran	1300	240	239	239
6	Rumah tinggal	900	218	219	219
7	Rumah tinggal	900	217	217	218
8	Rumah tinggal	900	219	220	219
9	Rumah tinggal	900	218	218	218
10	Rumah tinggal	900	225	225	224
11	Rumah tinggal	900	219	220	220
12	Mushollah	900	221	220	220
13	Rumah tinggal	900	220	219	220

Transformator BR70063 menyuplai pelanggan yang merupakan kawasan villa yang terdiri dari sebelas rumah tinggal dengan daya terpasang sebesar 900 VA, sebuah restoran dengan daya terpasang sebesar 1300 VA, dan mushollah dengan daya terpasang sebesar 900 VA.

Terjadinya ketidakseimbangan beban pada transformator BR70064 ini tentunya tidak hanya berdampak pada timbulnya arus netral ataupun timbulnya rugi daya pada transformator itu. Tetapi,

tentunya juga berdampak pada pelanggan yang disuplai oleh transformator tersebut.

Seperti yang dapat dilihat pada tabel 6, terdapat beberapa pelanggan yang mengalami *overvoltage*. Dalam hal ini tegangan yang diterima lebih tinggi daripada yang seharusnya, yaitu 220 V. Dengan kondisi seperti ini, akan menurunkan kualitas daya yang diterima oleh pelanggan tersebut.

Overvoltage atau tegangan berlebih adalah meningkatnya voltase dengan durasi milidetik hingga beberapa detik, voltase yang lebih besar gelombang yang lebih lama dari beberapa detik. Efek dari gangguan ini adalah kehilangan atau kerusakan data pada disk drive, lampu menjadi redup atau terang sendiri, Tampilan layar pada alat elektronik menjadi menyusut, peralatan elektronik shutdown atau restart sendiri. Jika hal ini terus dibiarkan dalam waktu yang lama, maka akan mengurangi umur dan merusak peralatan elektronik yang digunakan.

V. KESIMPULAN

1. Pemasangan beban yang tidak seimbang akan menyebabkan timbulnya arus netral yang mengalir ke tanah dan terjadinya rugi daya. Pada pengukuran transformator, besar arus netral yang terjadi pada transformator adalah 3.20 ampere pada siang hari, dan 11 ampere pada malam hari.
2. Akibat terjadinya ketidakseimbangan beban, terdapat pelanggan yang mengalami *overvoltage*. Hal ini tentunya akan berdampak pada menurunnya kualitas daya yang diterima dan akan mengurangi umur peralatan listrik yang digunakan.

REFERENSI

- [1] Baharuddin, Pengaruh Ketidak-seimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi Proyek Rusunami Gading Icon, Jakarta : Universitas Mecubuana, 2012
- [2] Kadir ,A., Transformator, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo. 1989
- [3] Standar PLN (SPLN) D5.004-1, Power Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker, dan Ketidakseimbangan Tegangan), Jakarta Selatan : PT. PLN (Persero), 2012
- [4] Sudaryatno Sudirham, Dr., Pengaruh Ketidakseimbangan Arus Terhadap Susut Daya pada Saluran, Bandung : ITB, Tim Pelaksana Kerjasama PLN ITB, 1991
- [5] Suswanto, Daman, Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Padang : Universitas Negeri Padang 1991.